

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Nedestruktivní zkoušení materiálů při
využití magnetické metody práškové

Non-destructive testing by using magnetic
powder method

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

David Derych
Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **David Derych**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování**
Téma: **Nedestruktivní zkoušení materiálu při využití magnetické metody
práškové
Non-Destructive Testing by Using Magnetic Powder Method**
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce se zabývejte možnostmi použití metod nedestruktivního testování při kontrole povrchových nečistot a vad. Zvolte vhodné nástroje a postupy pro nedestruktivní testování, zvláště pak magnetické metody práškové.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

VĚCHET, M. a kol.: *Defektoskopie v otázkách a odpovědích* SNTL Praha 1989, 1. vydání, 323 s., ISBN 00-03-00100-5.

ČSN EN 15617 (051185) *Nedestruktivní zkoušení svarů*.

KOPEC, B., ŠMÍD, R.: *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: Nauka o materiálu IV*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.

KREIDL, M.: *Senzory neelektrických veličin: Technická diagnostika*. 1.vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 406 s. ISBN 80-7300-158-6.

ULLMANN, J.: *Nedestruktivní zkoušení materiálů: všeobecné znalosti*. 1.vyd. Ostrava: PTS Josef Solnař, 1995. 43 s.

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

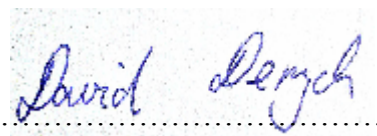


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

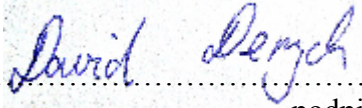
V Ostravě


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́еднано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́еднано, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:
Adresa trvalého pobytu autora práce:

David Derych
Seifertova 8, Přerov 750 02

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DERYCH, D. Nedeštruktivní zkoušení materiálů – magnetická metoda prášková : bakalářská práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 58 s. Vedoucí práce: Blata, J.

Bakalářská práce se zabývá nedeštruktivním zkoušením materiálů pomocí magnetické metody práškové, také známé jako metoda rozptylových toků. Tato metoda se používá u feromagnetických materiálů, ve kterých se předpokládají povrchové a těsně podpovrchové vady. V úvodu bakalářské práce jsou však uvedeny všechny metody používané v oboru nedeštruktivního zkoušení materiálů. Cílem této práce je rešerše o magnetické metodě práškové, avšak je uvedena i praktická ukázka testování součásti pomocí této metody.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

DERYCH, D. Non-destructiv testing by using magnetic powder method : bachelor thesis. Ostrava : Technical University of Ostrava, Faculty of mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 58 p. Thesis head: Blata, J.

Bachelor thesis is concerned with non-destructive testing of materials by using magnetic powder method, also famous as magnetic particle method. We can use this method for ferromagnetic materials and find there surface's and under-surface's defects. At the beginning of bachelor thesis there are state all of methods of non-destructive testing. The goal of this work is research about magnetic powder method, but there is also practice presentation of testing component by magnetic particle method.

Obsah

1	Úvod	9
2	Nedestruktivní zkoušení materiálů	10
2.1	Metody NDT	10
3	VADY DLE VÝROBNÍHO PROCESU	15
3.1	Charakteristika vady	15
3.2	Slévárství	16
3.2.1	Vady vznikající ve slévárství	16
3.3	Svařování	18
3.3.1	Rozdělení vad při tavném svařování	18
3.4	Tváření	21
3.4.1	Vady vznikající při tváření	22
4	Magnetická metoda prášková	23
4.1	Princip metody	23
4.2	Certifikace a kvalifikace	24
4.3	Magnetické veličiny	25
4.3.1	Magnetické pole	25
4.3.2	Magnetická indukce	25
4.3.3	Magnetický indukční tok	26
4.3.4	Intenzita magnetického pole	27
4.3.5	Permeabilita vakua	28
4.3.6	Relativní permeabilita	28
4.4	Magnetické vlastnosti látek	28
4.4.1	Diamagnetické látky	29
4.4.2	Paramagnetické látky	29
4.4.3	Feromagnetické látky	30
4.5	Druhy magnetizování	30

4.5.1	Pólová magnetizace	30
4.5.2	Proudová magnetizace (cirkulární)	32
4.5.3	Kombinovaná magnetizace	34
4.6	Elektrický proud pro magnetování	35
4.7	Detekční prostředky	36
4.8	Vlastnosti magnetických prášků	37
4.9	Vlastnosti detekčních suspenzí	39
5	Testování magnetickou metodou práškovou	40
5.1	Testování pastorku pomocí fluorescenčního detekčního prostředku	43
5.2	Testování koutového svaru pomocí fluorescenčního detekčního prostředku	48
5.3	Testování součásti pomocí barevného detekčního prostředku	49
5.4	Protokol o výsledcích	51
6	Závěr	54
	Seznam použité literatury	55

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka / symbol	Význam	Jednotka
B	Magnetická indukce	Tesla [T]
F	Síla	Newton [N]
I	Elektrický proud	Ampér [A]
Φ	Magnetický tok	Weber [Wb]
μ	Permeabilita	Henry na metr [H.m ⁻¹]
H	Intenzita magnetického pole	Ampér na metr [A.m ⁻¹]
r	Vzdálenost indukční čáry od středu vodiče	Metr [m]
μ_0	Permeabilita vakua	Henry na metr [H.m ⁻¹]
μ_r	Relativní permeabilita	-
A	Obsah zkoušené plochy magnetizačního jha	Milimetr [mm]
d	Vzdálenost pólů magnetizačního jha	Milimetr [mm]
E	Intenzita osvětlení	Lux [lx]

1 Úvod

Pod pojmem nedestructivní testování, mezinárodně známé jako NDT, si představíme takové zkoušky, které nám umožní odhalit vady na povrchu, pod povrchem ale i vně materiálů, aniž bychom narušili či změnili jejich vlastnosti. Je to součást technické diagnostiky, která se zabývá bezdemontážními a nedestructivními metodami a prostředky pro zjišťování technického stavu stroje.

V poslední době se v průmyslu klade čím dál větší důraz na kvalitu materiálů a tím zvýšení bezpečnosti různých konstrukcí, strojů apod. Proto se stává nedestructivní zkoušení nezastupitelnou součástí v kontrole a řízení jakosti ve všech firmách, kterým jde převážně o spolehlivost a kvalitu výrobků. Tyto firmy musí mít vyškolené a certifikované pracovníky, kteří si uvědomují, jak důležitou roli představuje tento obor v rámci bezpečnosti. Je nutné si uvědomit, že díky nedestructivnímu zkoušení materiálu předcházíme katastrofám a máme možnost bezpečně cestovat, obsluhovat průmyslová zařízení, pohybovat se na vysokých konstrukcích apod.

Musíme si uvědomit, že každá NDT metoda má svoji oblast použitelnosti a neexistuje žádná metoda, díky které bychom našli všechny druhy vad ve zkoušeném materiálu. Proto je nutné, aby pracovník měl potřebnou znalost a praxi v oboru, díky které zvolí správnou kombinaci metod.

V této bakalářské práci zmíním všechny metody nedestructivního zkoušení, avšak hlavní část a důraz bude kladen zejména na magnetickou metodu práškovou, také známou jako metodu rozptylových toků.

2 Nedestruktivní zkoušení materiálů

Pro tvorbu této kapitoly bylo čerpáno z literatury [1], [2], [5], [7], [8]

Defektoskopie se obecně zabývá strukturou materiálů, hledáním jejich vad a tím pádem eliminuje počet nehod (poruch) a zaručuje spolehlivost, bezpečnost a delší životnost stroje či objektu.

Při volbě metody nedestruktivní defektoskopie přihlížíme na řadu faktorů jako jsou:

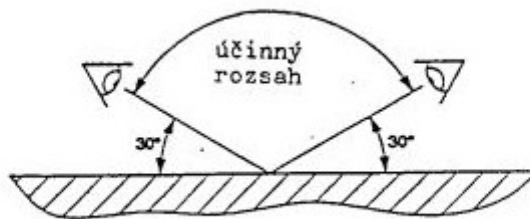
- mechanické a fyzické vlastnosti materiálu
- okolní prostředí
- umístění objektu z hlediska přístupu
- velikost zkoumané oblasti
- důležitost kvality provedení (bezpečnost)

2.1 Metody NDT

A. VIZUÁLNÍ METODA

Identifikace vad materiálů či výrobků se provádí pouhým zrakem bez pomůcek nebo s pomůckami (zrcadla, lupy, etalony povrchu apod.), nebo pomocí technických zařízení jako jsou například endoskopy a videokamery.

Vizuální metodu rozdělujeme na dvě základní skupiny, a to sice na přímou a nepřímou vizuální kontrolu. Přímá vizuální kontrola je taková, která nemá přerušenu optickou dráhu mezi okem a pozorovanou plochou. Používá se v případě dobré přístupnosti k pozorovanému objektu (méně než 600 mm mezi okem a plochou) a úhlem větším než 30° . Světlo, které nám osvětluje danou plochu, by mělo dosahovat intenzity 500 luxů pro kvalitnější kontrolu.



Obr. 1 Zobrazení pohledu pod minimálním úhlem [11]

Za nepřímou vizuální kontrolu považujeme takovou, kde pozorování pouhým okem nemůžeme provádět z důvodu nepřístupnosti (tlakové nádoby, potrubí), a proto zde používáme technických zařízení (přístroje s optickými vlákny, kamery).

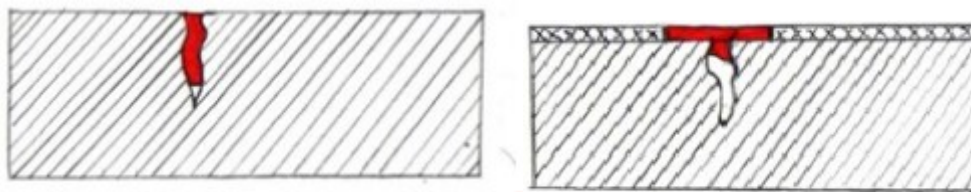
B. KAPILÁRNÍ METODY

Princip této metody je založen na využití kapilárních vlastností (povrchové napětí, viskozita kapaliny, kapilární tlak a elevace, krajový úhel). Využívá se vztlínivosti a smáčivosti penetrantu (kapaliny), jeho barvy nebo fluorescence.

Na zkoumaný povrch se nanese vrstva kapaliny, která se po ukončení penetrace do vad odstraní. Poté se zbylý penetrant začíná vztlínat ve vadách na povrch a vytváří indikaci vady (barevnou, fluorescenční), která se vizuálně zhodnotí.



Obr. 3 Trhlina v materiálu [12], Obr. 4 Nanesení penetrantu na povrch [12]



Obr. 5 Setření penetrantu z povrchu [12], Obr. 6 Nanesení vývojky [12]

Pro vykonání této zkoušky potřebujeme kapilární soubor (set), který se skládá z těchto prostředků:

- detekční penetranty
- vývojky (nanáší se po odstranění penetrantu - většinou bílé barvy)
- odmašťovače a rozpouštědla
- emulgátory (usnadňují rozpuštění zbytku penetrantu)

Pomocí této metody zjišťujeme pouze povrchové vady, nikoli podpovrchové.

C. METODA VÍŘIVÝCH PROUDŮ

Principem této metody je vyhodnocení magnetického toku budící cívky a toku vířivých proudů. Při každé necelistvosti materiálu se hustota vířivých proudů mění. Kontrolovaná

součást by měla být dobře přístupná pro umístění sondy. Materiál musí být elektricky vodivý a hladký.

Značnou výhodou této metody je zejména to, že se dá uplatnit v automatických linkách u sériové výroby. Nevýhodou je však nemožná indikace vad, které se můžou objevovat hluboko pod povrchem.

D. ULTRAZVUKOVÁ METODA

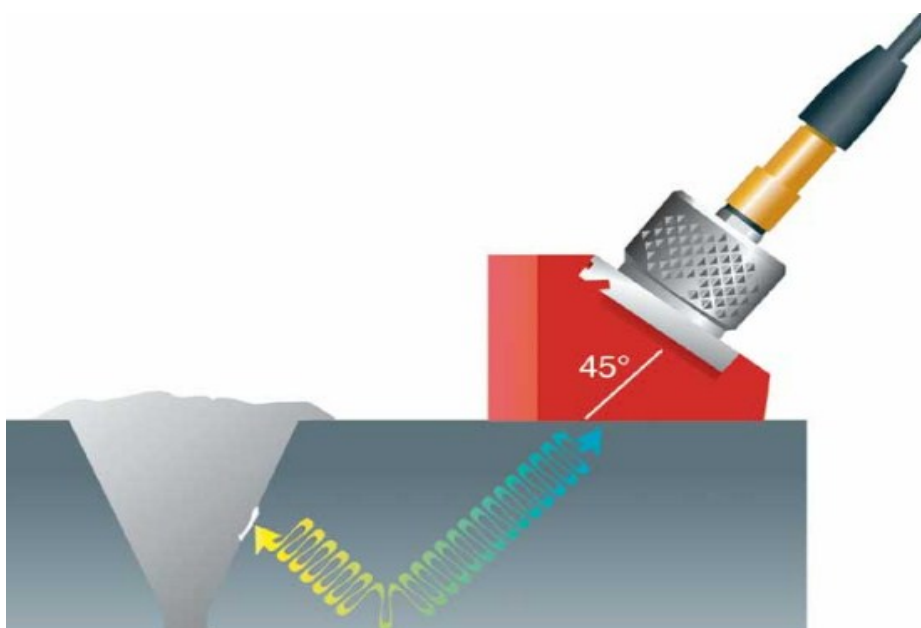
Při této metodě prochází ultrazvukové vlnění materiálem. Jestliže vlnění narazí na rozhraní dvou prostředí (materiál, vzduch), tak dojde ke změně vlnění – jeho odrazu a lomu. Výsledný odraz vlnění (echo) se nám poté ukáže na obrazovce zařízení a následně se vyhodnocují případné indikace vad. Vlnění se vysílá pomocí sond, které se liší především úhlem, pod kterým vnikají ultrazvukové vlny do materiálu.

Touto metodou můžeme indikovat:

- plošné vady
- lineární vady
- objemové vady

Měření pomocí:

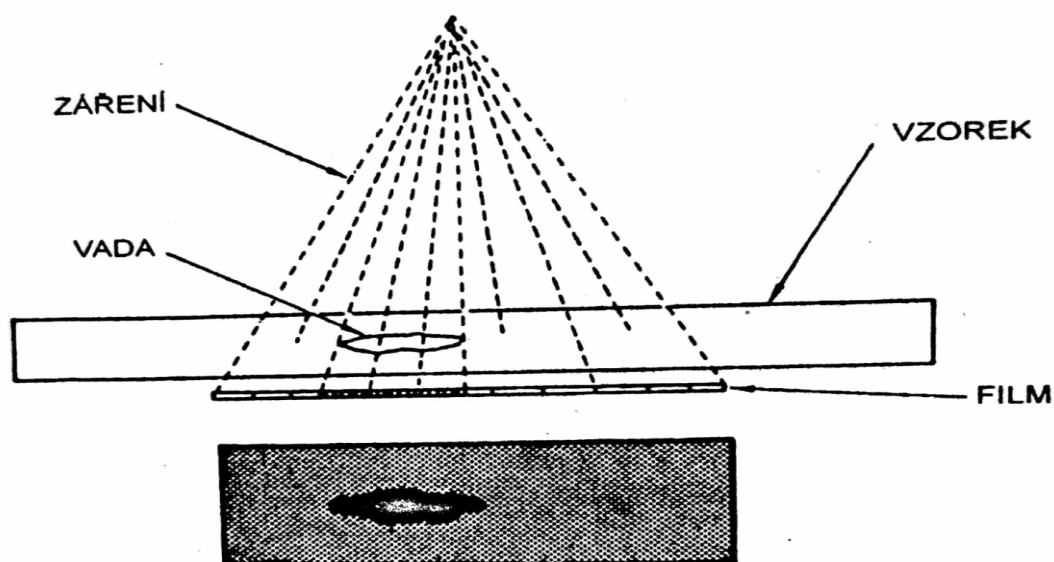
- odrazové metody (sonda je vysílač i přijímač)
- přímé metody (ultrazvuk se vysílá z jedné strany materiálu a přijímá se na druhé straně)



Obr. 7 Odrázová metoda [13]

E. PROZAŘOVÁNÍ

Tato zkouška je založena na vyhodnocování změny pronikavého záření, které prošlo zkoušeným materiálem. Úbytek záření se zobrazuje na radiografickém filmu.



Obr. 8 Princip prozařovací metody [1]

Výhodou této zkoušky je použitelnost pro většinu druhů materiálů, včetně kompozitů. Nevýhodou je velikost zkoušené tloušťky materiálu v závislosti na jeho hustotě, ale také nebezpečné radiační záření.

F. AKUSTICKÁ METODA

Vady vznikající nebo rozšiřující se v materiálu, vytvářejí elastické napět'ové vlny, které zaznamenáváme pomocí snímačů. Tyto snímače využívají k detekci vln piezoelektrické elementy. Při průchodu vlny snímačem dochází k deformaci náboje a tím vzniká napětí. Dále se napětí přenáší na vstup předzesilovače pro jeho zesílení a přizpůsobení k dalšímu zpracování. Výstupem je poté elektrický signál, odpovídající velikosti mechanického buzení.

3 VADY DLE VÝROBNÍHO PROCESU

Pro tvorbu této kapitoly bylo čerpáno z literatury [1], [3], [6].

3.1 Charakteristika vady

Každý hutní materiál, nebo opracovaný ocelový výrobek, by měl splňovat podmínky technických norem a technicko - obchodních dokumentů, které uvádí jejich vlastnosti. Jsou to zejména rozměry výrobku, tvar, materiál a jeho vlastnosti, ale jsou zde také uvedeny dovolené odchylky. Jestliže je výrobek v rozmezí těchto odchylek, není považován jako vadný. Pokud ovšem provedení a vlastnosti neodpovídají dané technické normě (tech. normám), nebo obchodním podmínkám, mluvíme o vadě výrobku.

Opravitelná chyba je taková, kterou můžeme odstranit nebo opravit podle postupu uvedených v technických normách nebo výrobních dokumentech.

Tab.1 Základní třídění vad do skupin a jejich všeobecný popis [1]

Skupina vad		Všeobecná charakteristika
číslo	název	
1	Vady rozměrů	Nedodržení požadavků na předepsané jmenovité rozměry výrobku a jejich mezní úchyly
	Vady tvaru a polohy	Nedodržení požadavku na vzdálenosti vyjadřující polohu posuzované plochy, osy nebo roviny souměrnosti výrobku Vzhledem k její jmenovité poloze
2	Vady povrchu	Nedodržení požadavku na předepsané provedení povrchu
3	Necelistvosti	Necelistvost hmoty výrobku
4	Vady zjišťované zvláštními laboratorními zkouškami	Nedodržení požadavků na předepsané hodnoty mechanických, technologických a fyzikálních vlastností výrobku, nedodržení předepsané makrostruktury, mikrostruktury apod.

Můžeme však dělit vady i podle způsobu výroby dané součástky:

- slévání
- svařování
- tváření
- jiné

Každému technologickému oboru výroby součásti náleží státní nebo oborové normy, které uvádí tolerance a specifikují postup pro hodnocení příslušné vady (např. ČSN ISO 6520 - 1 pro svařování tavné, - 2 tlakové, nebo také ČSN EN 1369 pro slévárenství).

3.2 Slévárenství

Ve strojírenském průmyslu můžeme díky slévání vytvořit často velmi složitý tvar. Tento způsob výroby využívá tekutého stavu oceli, která se odlévá do:

- a) kovových forem (tzv. kokily), ve kterých díky tuhnutí vznikají ingoty určené k dalšímu zpracování
- b) žáruvzdorných forem (pískové, hlíněné), které mají přibližný tvar a rozměry hotového výrobku

3.2.1 Vady vznikající ve slévárenství

Tyto vady vznikají při tuhnutí slitiny ve formách a značně ovlivňují mechanické vlastnosti odlitku. Proto se je v praxi snažíme úplně odstranit, nebo aspoň minimalizovat.

3.2.1.1 Staženiny

Při tuhnutí slitiny ve formě dochází ke smršťování materiálu a tím vzniku staženin. Staženiny nejčastěji vznikají v místech tzv. tepelných uzlů, což jsou místa kde se nachází největší průřez, ve kterém materiál tuhne nejpozději. Staženiny dělíme do dvou skupin:

- Mikrostaženiny – v odlitcích se vyskytují zcela běžně, proto je důležité aby byly v odlitku rozmístěny rovnoměrně a nejlépe v malém počtu (mikrostaženiny jsou drobné)
- Makrostaženiny – Jedná se o velké dutiny (i několik centimetrů). Pomocí tzv. nálitkování můžeme tyto makrostaženiny eliminovat. Přidáním většího

objemu tekutého kovu (více materiálu než se vleze do formy), který zaplní dutinu vzniklou při smršťování.

3.2.1.2 Bubliny

Jestliže se v tavenině nachází plyn (nejčastěji kyslík, vodík a dusík), který se tam dostane např. při intenzivním přeléváním a nestihne se z taveniny uvolnit, tak vznikají v odlitku vady ve formě bublin. Tyto plyny vznikají při reakci vlhkosti s roztavenou slitinou. Vlhkost se může brát z nevysušených surovin pro tavení, atmosféry nebo může být například vlhké nářadí, které se používá při slévání.

3.2.1.3 Trhliny

V praxi se často používá také pojem praskliny. Běžně se ale v praxi při porušení kovu prasknutím nebo roztržením používá pojem trhlina. Ve slévárenství však rozlišujeme oba dva pojmy a to podle teploty vzniku vady. Při vysokých teplotách (překročili-li vnitřní pnutí v materiálu jeho pevnost) vznikají v odlitku trhliny, které postupují buď skrz zrna, nebo podél hranice zrn. Naopak při vychladnutí nám vznikají v odlitku praskliny.

3.2.1.4 Vměstky

Nekovovými vměstky máme na mysli nežádoucí cizorodé nekovové částice, které se nachází v mikrostruktuře a vměstky o větších rozměrech jsou viditelné pouhým okem, pokud jsou vměstky právě na povrchu (můžou se nacházet i uvnitř objemu – poté používáme metodu ultrazvukem). Vměstky vznikají nejčastěji znečištěním taveniny a zdrojem znečištění obvykle bývá např. žáruvzdorné hmoty se kterými přichází tekutá ocel do styku, zplodiny desoxidace nebo pecní a kokilová struska.

3.2.1.5 Zavaleniny

Zavaleniny vznikají jestliže se setkají dva proudy taveniny v jednom místě, které jsou již zchládlé a jejich čela jsou zoxidovány, takže se nedokáží dokonale promísit a tudíž nedochází k dokonalému spojení.

3.3 Svařování

Při svařování dochází ke spojování dvou kovových (někdy i nekovových) materiálů. V místě kontaktu se materiál roztaví a po ztuhnutí vzniká nerozebíratelný spoj. Při svařování dochází v materiálu k teplotním a deformačním procesům, které nám ovlivňují strukturu materiálu a jeho fyzikální vlastnosti. Proto musíme každý svar následně zkontrolovat, jestli je kvalitně proveden a nenacházejí se v něm žádné vady.

Rozlišujeme:

- Tavné svařování využívá roztaveného přídavného prášku, který nám nataví i základní materiál. Při tavném svařování dochází v okolí svaru k rychlým změnám teplot a tím vzniká velké vnitřní pnutí. Proto se v praxi při kontrole svaru kontroluje i tzv. tepelně ovlivněná zóna (10-25 mm), která má stejná kritéria pro hodnocení vad jako svar. Norma ČSN EN ISO 6520 – 1 klasifikuje geometrické vady kovových materiálů.
- Tlakové svařování využívá plastické deformace u obou stykových ploch. U měkkých materiálů (hliník, cín, měď) stačí venkovní teplota. U tvrdších materiálů je potřeba stykové plochy ohřát na vyšší teplotu pro lepší plasticitu. Norma ČSN EN ISO 6520 – 2 uvádí postup pro hodnocení nalezených vad u svaru při tlakovém svařování.

3.3.1 Rozdělení vad při tavném svařování

Ve svaru můžeme nalézt vady povrchové, ale i vnitřní. Vnitřní vady zjišťujeme pomocí prozařování nebo ultrazvukem. Jako doplňující metodu zde používáme magnetickou metodu práškovou pro zjišťování povrchových a těsně podpovrchových vad.

V praxi můžeme připustit pouze svarové spoje bez vad, nebo s takovými vadami, o kterých víme a můžeme zaručit, že při provozu a při daném zatížení neohrozí bezpečnost práce.

Vady rozdělujeme podle:

a) Tvaru

- Bodové
- Plošné
- Prostorové

b) Polohy

- Povrchové
- Vnitřní



Obr.9 Vady ve svaru podle tvaru a polohy [3]

Konkrétní vady a klasifikaci vad u tavného svařování nám uvádí norma ČSN EN ISO 6520 – 1 a rozřídí je nám je do 6. základních skupin:

1. Trhliny
2. Dutiny
3. Pevné vměstky
4. Vady odtavování a závaru
5. Vady tvaru
6. Různé vady

Vady vzniklé ve svarových spojích závisí na metodě svařování a druhu svařovaného materiálu.

Následující tabulka nám znázorňuje rozdělení vad ve svarech dle ČSN ISO 6520.

Tab.2 Třídění a základní přehled vad [3]

Skupina	Název vady	Označování vad ISO 6520	Charakteristika vady
1	Trhliny	100	
	Mikrotrhlina	1001	
	Podélná trhlina	101	Směr trhliny je rovnoběžný s osou svaru
	Příčná trhlina	102	Směr trhliny je kolmý na osu svaru
	Radiální trhlina	103	Trhliny vychází ze společného bodu
	Kráterová trhlina	104	Tvoří se v kráteru svaru
	Rozvětvené trhliny	106	Skupina pospojovaných trhlín
2	Dutiny		
	Plynová dutina	201	Plynová dutina kulového tvaru
	Shluk dutin	2011	Skupina plynových dutin
	Řádka dutin	2014	Plynové dutiny rozmístěné paralelně s osou svaru
	Pór	2015	Protažená dutina, jejíž rozměr je přibližně rovnoběžný s osou svaru
	Staženina	202	Dutina způsobená ústupem kovu při tuhnutí
	Mezidendritická staženina	2021	Prodloužená staženina vznikají při ochlazování mezi dendrity
3	Vměstky	300	Tuhá cizí tělesa ve svarovaném kovu
	Struskový vměstek	301	Struska uzavřená ve svarovém kovu
	Tavidlový vměstek	302	Tavidlo uzavřené ve svarovém kovu
	Oxidický vměstek	303	Kovový oxid ve svarovém kovu
	Kovový vměstek	304	Částice cizího kovu ve svarovém kovu

4	Vady odtavování a závaru	400	
	Studený spoj	401	Vada ve spojení mezi svarovým kovem a základním materiálem nebo mezi sousedními housenkami
	Neprovařený kořen	402	Vada ve spojení základních materiálů v důsledku nedostatku svarového kovu v kořeni svaru
5	Vady tvaru	500	Chybný tvar vnějšího povrchu svaru nebo nedokonalá geometrie spoje
	Zápal	5011,5012	Drážka na povrchu nebo v kořeni svaru, vzniklá při svařování
	Propadlý přechod v kořeni	5013	Mělká drážka po obou okrajích kořene způsobená stáhnutím svarového kovu
	Krápník	5041	Nadměrné propadnutí kořene
6	Různé vady	600	Všechny vady nezařazené do skupin 1-6
	Dotek elektrodou	601	
	Rozstřík	602	

3.4 Tváření

Při tváření kovů dochází k trvalé změně polotovaru na požadovaný tvar za pomoci vnějších sil. Nemění se však pouze tvar, ale i struktura a vlastnosti materiálu. Materiál použitý ke tváření nazýváme tvárný, protože má dobré plastické vlastnosti.

Tváření rozdělujeme do dvou základních skupin:

- Za studena
- Za tepla

Pod pojmem tváření si můžeme představit například tyto procesy:

- Kování – volné, zápustkové
- Tažení
- Protlačování
- Válcování a tažení trubek

3.4.1 Vady vznikající při tváření

Mezi hlavní vady vzniklé při tváření patří:

- a) Přeložky – s přeložkami se můžeme setkat u výkovků a válcovaných materiálů
- b) Trhliny (vnější, vnitřní) – můžou vzniknout v jakémkoliv výrobním procesu, jestliže je v materiálu příliš velké pnutí
- c) Mechanické vady – můžou to být různé vady jako jsou rýhy a otlaky, které vznikají při použití poškozeného nebo vadného nářadí

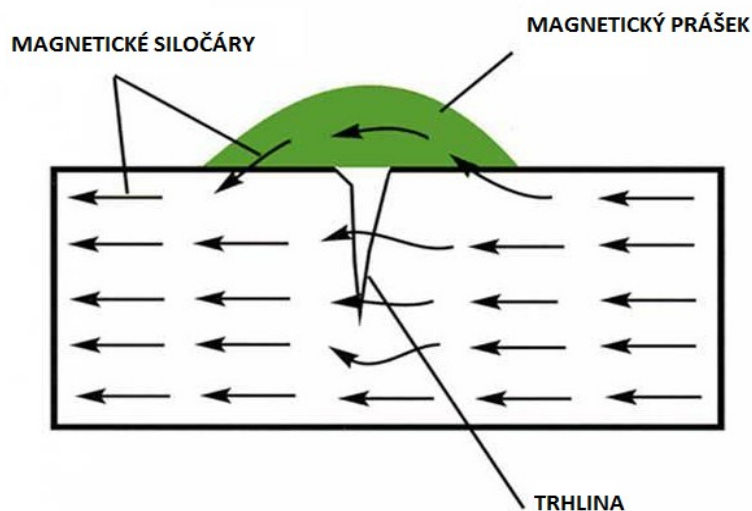
4 Magnetická metoda prášková

Pro tvorbu této kapitoly bylo čerpáno z literatury [1], [2], [3], [4], [5], [9], [10]

Magnetická metoda prášková, také známá jako metoda rozptylových toků, je založena na zviditelnění rozptylového magnetického pole nad trhlinou, která se nachází na povrchu, nebo těsně pod povrchem materiálu. Používá se především pro detekci vad plošného charakteru jako jsou trhliny, přeložky materiálu nebo studené spoje. Nepoužívá se pro zjišťování vnitřních vad. Výhodou magnetické metody práškové je její jednoduchost, snadná obsluha, možnost zkontrolovat (až na výjimky) jakýkoliv tvar a možnost použití v automatických výrobních linkách. Kontrolovaná plocha nevyžaduje velké nároky na přípravu a čistotu, ale čím kvalitnější povrch, tím je kvalitnější i zkoušení. Nevýhodou této metody je omezenost zkoušeného materiálu. Můžeme zkoušet pouze feromagnetické materiály s hodnotou relativní permeability $\mu_r > 100$. Mezi další nevýhody můžeme zařadit opaly v místě kontaktu při použití přímého průchodu elektrického proudu (kontaktní hroty) nebo rozměrné zdroje magnetizačního proudu. Hledání necelistvostí v materiálu je omezeno do hloubky zhruba 6 milimetrů.

4.1 Princip metody

Jestliže se ve zmagnetovaném materiálu nachází necelistvost, která je přibližně kolmá na magnetické siločáry (magnetické pole musí mít dostatečnou intenzitu) procházející materiálem, tak magnetické siločáry vystoupí z materiálu na povrch a vytvoří se indikace necelistvosti. Ke zviditelnění vystoupilých magnetických siločar, a tedy i necelistvosti v materiálu, se používá magnetický prášek (jemný železný prach) a nosné médium.



Obr. 10 Princip magnetické metody práškové [14]

4.2 Certifikace a kvalifikace

K vykonávání nedestruktivního zkoušení materiálů je zapotřebí, aby daný pracovník, který kontrolu provádí, měl v daném oboru zkoušení platný certifikát. V České republice se provádí certifikace a kvalifikace podle normy ČSN EN ISO 9712. Kvalifikací se myslí absolvování školení jak teoretického, tak praktického v dané metodě zkoušení. Certifikace je dokument, který uvádí, že daný pracovník prošel úspěšně kvalifikací. Certifikace se dělí do tří stupňů. Pracovník, který nemá žádný stupeň certifikace, může pracovat v NDT pouze jako praktikant pod dohledem certifikovaného pracovníka. Praktikant však není za odvedenou zkoušku zodpovědný.

Třístupňová kvalifikace a certifikace:

- Stupeň 1 – Pracovník certifikovaný na stupeň 1 je kvalifikován provádět NDT zkoušky, avšak podle písemných instrukcí a ve spolupráci s pracovníkem, který je certifikován na stupeň 2. Pracovník není zodpovědný za výběr metod a použité techniky, nesmí samostatně vyhodnocovat a posuzovat výsledky zkoušení ani vystavovat protokoly o výsledcích zkoušení.
- Stupeň 2 – Pracovník certifikovaný na stupeň 2 provádí NDT zkoušení podle uznaných postupů, vyhodnocuje výsledek zkoušení podle norem a vystavuje protokol o provedené zkoušce. Pracovník je již zodpovědný za provedenou zkoušku.

- Stupeň 3 – Pracovník certifikovaný na stupeň 3 je kvalifikován k vykonávání či řízení jakékoliv činnosti v NDT, avšak pouze v takové metodě, ve které má daný pracovník vyhotovenou certifikaci.

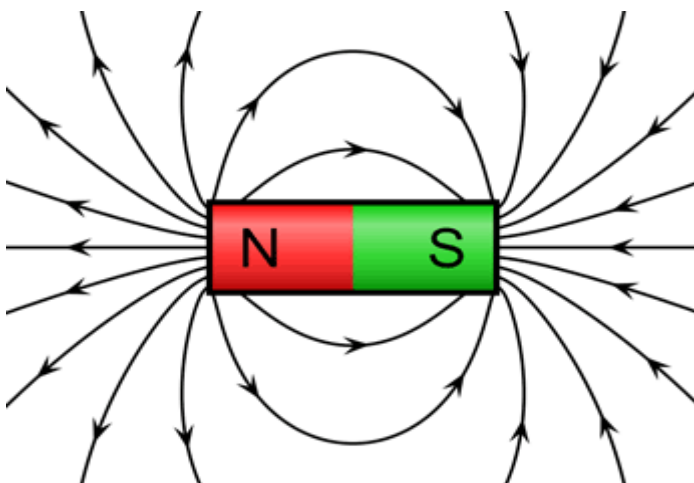
Osoba ucházející se o certifikát, musí prokázat pomocí dokumentu, že splňuje podmínky zrakového testu tzv. Jägrův test číslo 1, ze vzdálenosti větší než 30 centimetrů. Zraková způsobilost pro vidění nablízko se ověřuje každý rok.

4.3 Magnetické veličiny

4.3.1 Magnetické pole

Vznik magnetického pole je spojen s pohybujícími se elektrickými náboji a je tedy všude tam, kde protéká elektrické proudové pole.

Magnetické pole se vyznačuje magnetickými indukčními čárami, které jsou vždy uzavřené a nikdy se neprotínají. Magnetické indukční čáry vystupují ze severního pólu magnetu, prochází okolním prostředím a vracejí se do jižního pólu, kde se indukční čáry uzavírají pomocí vnitřní části magnetu.



Obr. 11 Orientace indukčních čar magnetického pole [16]

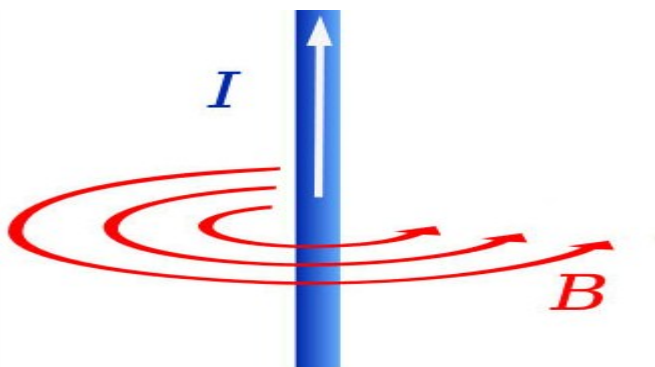
4.3.2 Magnetická indukce

Magnetická indukce se značí písmenem **B** a má jednotku tesla [T]. Teslu můžeme také vyjádřit jako sílu $F = 1\text{ N}$ (*Newton*), která působí na jednotku délky vodiče, kterým protéká proud $I = 1\text{ A}$ (*Ampér*) a je orientovaný kolmo ke směru magnetické indukce.

Magnetická indukce se vypočítá jako $B = \frac{\Phi}{S}$, (4.3.2.1)

nebo také $B = \mu \cdot H$, (4.3.2.2)

kde Φ je magnetický tok $[Wb]$, S je plocha kolmá na magnetický tok $[m^2]$, μ je permeabilita $[H \cdot m^{-1}]$ (Henry na metr) a H je intenzita magnetického pole $[A \cdot m^{-1}]$.



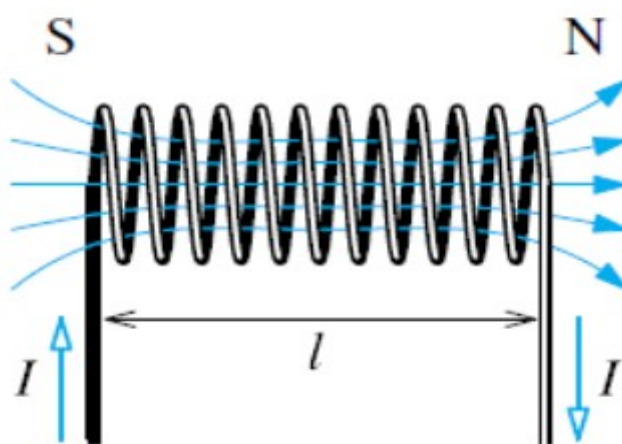
Obr.11 Znázornění magnetické indukce [15]

4.3.3 Magnetický indukční tok

Je to skalární veličina, která vyjadřuje počet indukčních čar protékajících daným průřezem. Značí se Φ a udává se v Wb (weber).

Magnetický indukční tok se vypočítá jako $\Phi = B \cdot S [Wb]$, (4.3.3.1)

kde B je magnetická indukce $[T]$ a S je průřez cívky $[m^2]$.



Obr.11 Znázornění magnetického toku (počet indukčních čar) [17]

4.3.4 Intenzita magnetického pole

Intenzita magnetického pole se značí H a má jednotku ampér na metr $[A \cdot m^{-1}]$. Protéká-li elektrický proud I vodičem, vznikají kolmo na vodič indukční čáry v podobě kružnic. Intenzita magnetického pole potom bude:

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (4.3.4.1)$$

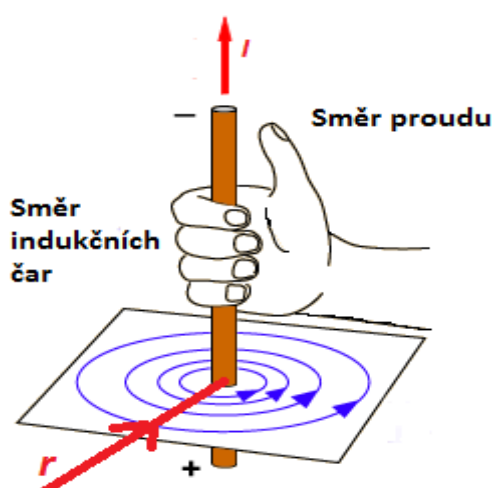
kde I je elektrický proud $[A]$, r je vzdálenost indukční čáry od středu vodiče $[m]$.

Intenzita magnetického pole se také dá vypočítat pomocí magnetické indukce a permeabilit a to sice tímto vztahem:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu} \quad (4.3.4.2)$$

kde B je magnetická indukce $[T]$, μ je relativní permeabilita a $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [H \cdot m^{-1}]$ je permeabilita vakua.

Ampérovo pravidlo pravé ruky používáme pro zjištění orientace vzniklého magnetického pole (směr magnetických indukčních čar). Využíváme dohodnutého směru tj. směr pohybu elektrického proudu je od kladného pólu k zápornému pólu. Přiložíme-li pravou ruku na vodič tak, aby palec ukazoval dohodnutý směr protékajícího proudu, zbývající prsty nám naznačují směr siločar magnetického pole.



Obr.12 Pravidlo pravé ruky a znázornění vzdálenosti r [18]

4.3.5 Permeabilita vakua

Permeabilitu samotnou můžeme nazvat také jako prostupnost prostředí. Je to veličina, která nám vyjadřuje magnetickou vodivost (prostupnost) prostředí, ve kterém vytváříme magnetické pole. Značíme ji μ a má jednotku $[H \cdot m^{-1}]$ (Henry na metr). Permeabilitu můžeme vypočítat základním vztahem:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (4.3.5.1)$$

kde B [T] je magnetická indukce a H $[A \cdot m^{-1}]$ intenzita magnetického pole.

Permeability vakua je magnetická indukční konstanta, která nám vyjadřuje magnetickou prostupnost vakuem. Hodnota permeability vakua se rovná $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ $[H \cdot m^{-1}]$.

4.3.6 Relativní permeabilita

Relativní permeabilita, také nazývaná jako poměrná permeabilita, nám vyjadřuje magnetickou polarizovatelnost prostředí, ve kterém vytváříme magnetické pole a určuje nám, kolikrát je naše magnetované prostředí prostupnější, než je samotné vakuum.

Vztah pro výpočet relativní permeability je potom:

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 \cdot H} = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (4.3.6.1)$$

nesmíme opomenout, že relativní permeabilita je bezrozměrová veličina.

4.4 Magnetické vlastnosti látek

Je známo, že vytvořené magnetické pole o určité intenzitě působí v různých materiálech odlišně. Druh materiálu (prostředí) a tedy jeho magnetické vlastnosti mají vliv pouze na magnetickou indukci, nikoli na magnetickou intenzitu (magnetická intenzita není závislá na druhu materiálu - prostředí). Vztah pro výpočet magnetické indukce je uveden výše, ale ve zkrácené formě. Celý vztah je potom roven:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H \quad (4.4.1)$$

kde B [T] je magnetická indukce, H [$A \cdot m^{-1}$] intenzita magnetického pole, μ_r je relativní permeabilita [bezrozměrová] a μ_0 je permeabilita vakua [$H \cdot m^{-1}$].

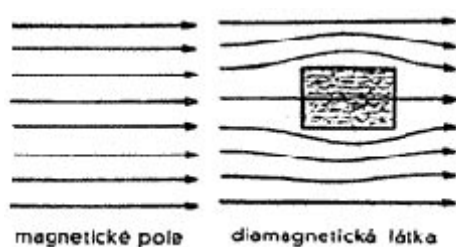
Z tohoto vztahu je zřejmé, že magnetické vlastnosti látek nám ovlivňuje hlavně relativní permeabilita, tedy magnetická polarizovatelnost v daném prostředí.

Materiály potom rozdělujeme do tří skupin na látky:

1. Diamagnetické
2. Paramagnetické
3. Feromagnetické

4.4.1 Diamagnetické látky

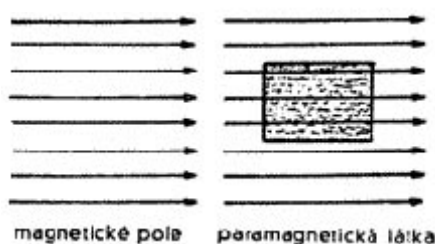
Diamagnetické látky mají hodnotu relativní permeability $\mu_r < 1$ a to znamená, že mírně zeslabují magnetické pole. Mezi diamagnetické látky patří všechny inertní plyny (He, Ar, Xe, Rn, Kr, Ne), voda a některé kovy (Hg, Bi, Ag, Cu).



Obr. 13 Znázornění diamagnetické látky v magnetickém poli [19]

4.4.2 Paramagnetické látky

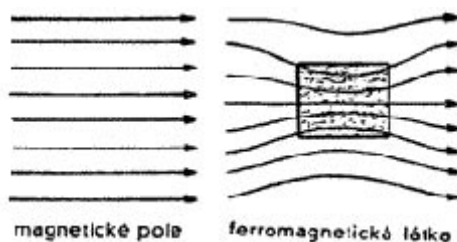
Paramagnetické látky mají hodnotu relativní permeability mírně vyšší (pouze nepatrně, například hliník má hodnotu $\mu_r = 1,000023$), tedy $\mu_r > 1$. Tyto látky nám magnetické pole naopak od diamagnetických látek mírně zesilují. Mezi paramagnetické látky patří například hliník, platina, mangan a chrom.



Obr. 14 Znázornění paramagnetické látky v magnetickém poli [19]

4.4.3 Feromagnetické látky

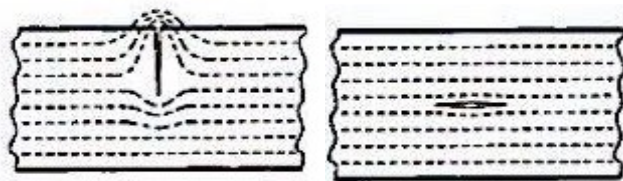
Tyto látky mají relativní permeabilitu mnohem vyšší než látky diamagnetické a paramagnetické. Dosahují hodnoty $\mu_r = 10$ až 100 000, takže jejich magnetická prostupnost je velká. Mezi hlavní prvky feromagnetismu patří železo, nikl a kobalt. Pokud tyto prvky zmagnetujeme, magnetické pole zůstává ve vnitř materiálu i po zaniknutí vnějšího magnetického pole.



Obr. 15 Znázornění feromagnetické látky v magnetickém poli [19]

4.5 Druhy magnetizování

Abychom danou vadu v materiálu našli, je potřeba, abychom materiál zmagnetovali a to nejlépe ve směru kolmém na případnou vadu. Pokud bychom materiál zmagnetovali ve směru vady, magnetické pole by se nerozptýlilo (nevytlačilo) na povrch a my bychom nenašli skrytou vadu. Proto musíme při magnetování kombinovat více směrů.



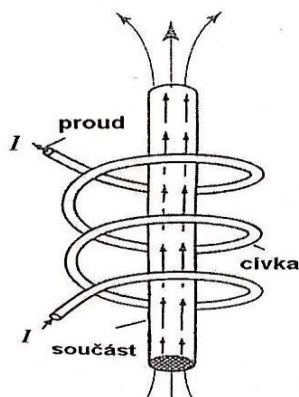
Obr. 16 Směr magnetování je kolmý k vadě, Obr. 17 Směr magnetování je rovnoběžný s vadou [10]

4.5.1 Pólová magnetizace

Pólová magnetizace v materiálu znamená, že magnetické pole vytvořené v kontrolovaném předmětu prochází skrz předmět, ale i mimo předmět. Typickým znakem pólové magnetizace je vznik magnetických pólů na zkoušeném předmětu.

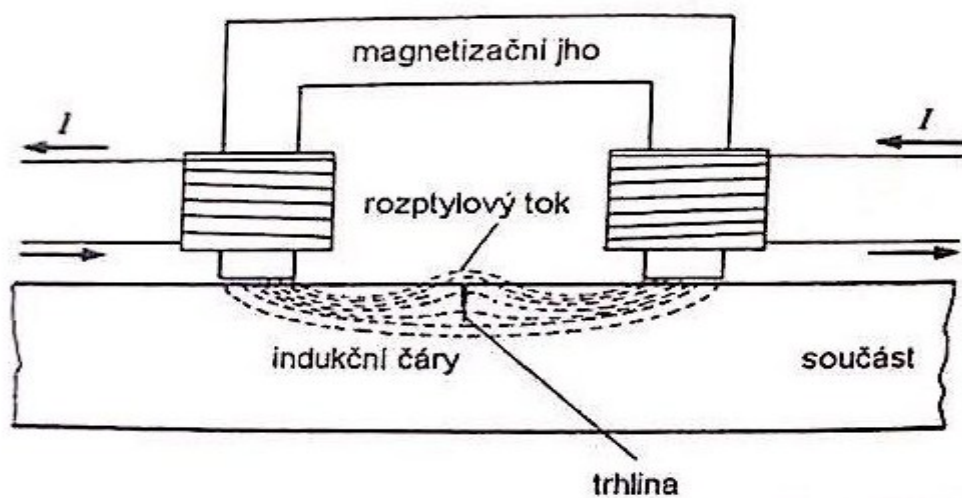
Pólové magnetizace dosahujeme pomocí:

- Cívky



Obr. 17 Magnetizace cívkou[1]

- Magnetizačního jha

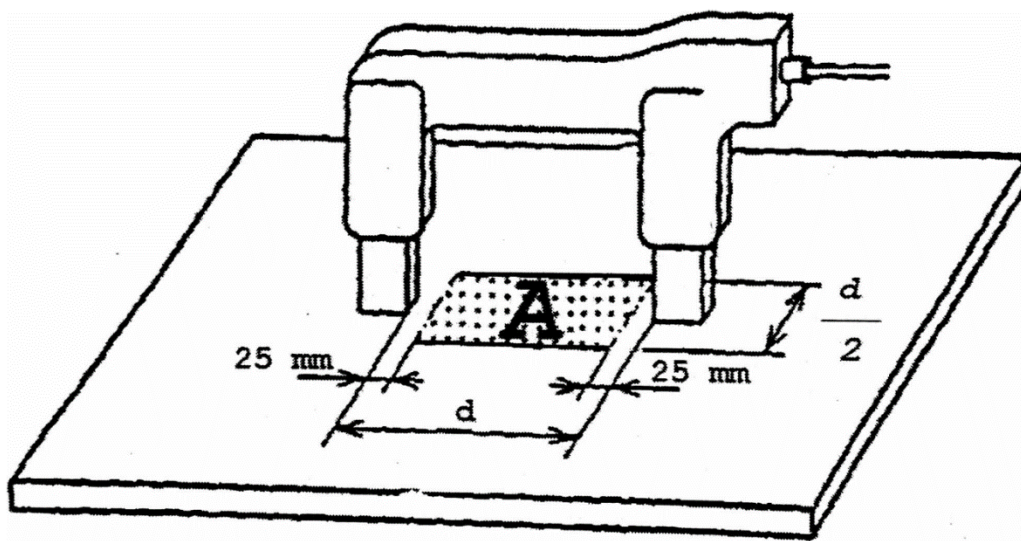


Obr. 18 Magnetizace pomocí magnetizačního jha [1]

Pomocí magnetizačního jha (ruční magnet) se kontrolují zejména svarové spoje, můžeme ovšem kontrolovat i rozsáhlé výkovky nebo odlitky, které musíme kontrolovat po částech. Proto si můžeme velikost zkoušené plochy spočítat:

$$A = \frac{d}{2} \cdot (d - 50) \quad (4.5.1.1)$$

Velikost zkoušené plochy závisí na kvalitě ručního magnetu a intenzitě proudu, vzdálenosti pólů a kvalitě přiložení jha na zkoušenou plochu.



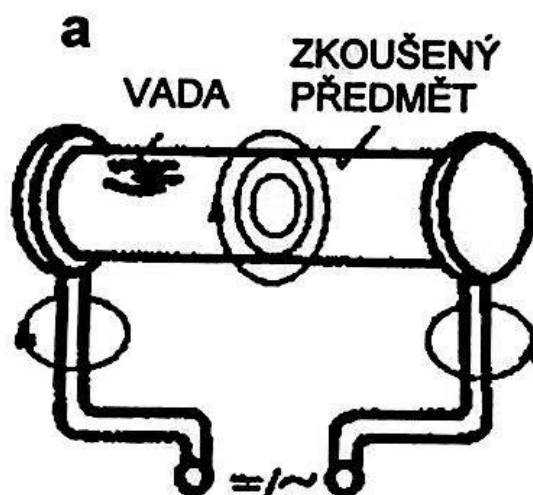
Obr. 19 Rozsah zkoumané plochy [4]

4.5.2 Proudová magnetizace (cirkulární)

U proudové magnetizace využíváme magnetizačního působení elektrického proudu. Při této metodě se na zkoušeném materiálu nevytvářejí žádné výraznější póly a magnetické siločáry jsou uzavřené ve formě kruhů (proto cirkulární).

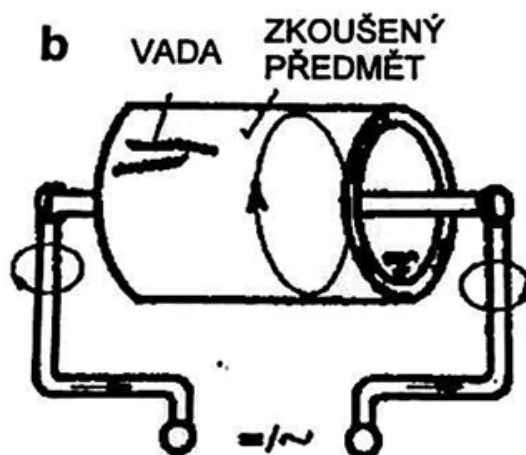
Cirkulární magnetizaci vyvoláme:

- a) Průchodem proudu – zkoušený předmět je magnetován příčně pomocí přiložených elektrod, takže zjišťujeme podélné vady v materiálu. Přítomný proud může nabývat od stovek až po několik tisíc Ampérů. Napětí se pohybuje obvykle od 4 do 15 Voltů.



Obr. 20 Cirkulární magnetizace průchodem proudu [3]

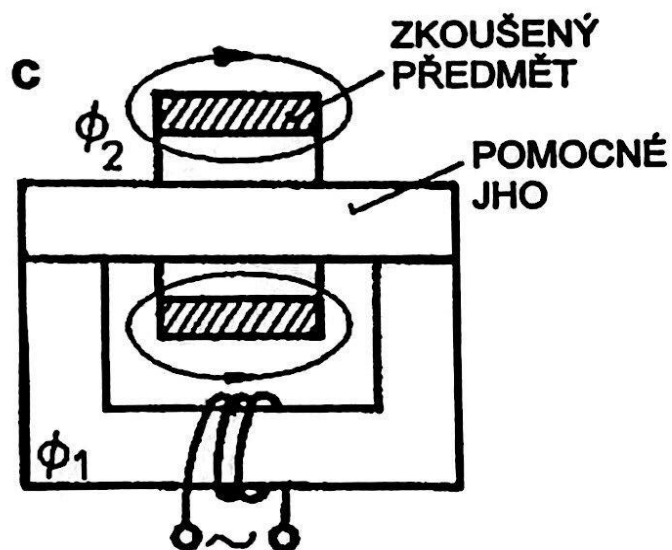
- b) Pomocným vodičem – používáme pro prstencové a trubkové součásti, kde se snažíme aby pomocný vodič byl umístěn v ose otvoru zkoušeného materiálu. Pomocný vodič musí být z vodivého neferomagnetického materiálu. Zjišťujeme vnější i vnitřní podélné vady, ale i vady na čele trubky.



Obr. 21 Cirkulární magnetizace pomocným vodičem [3]

- c) Indukcí proudu – zkoušená součást je navlečena na pomocný vodič z feromagnetického materiálu a ten je upnutý do jha, ve kterém prochází střídavý proud. Tímto střídavým proudem se v předmětu indukuje proud, který vytváří druhotné magnetické pole, takže je součást magnetována cirkulárně a zjišťují se vnitřní a vnější obvodové vady. U magnetizace indukčním proudem

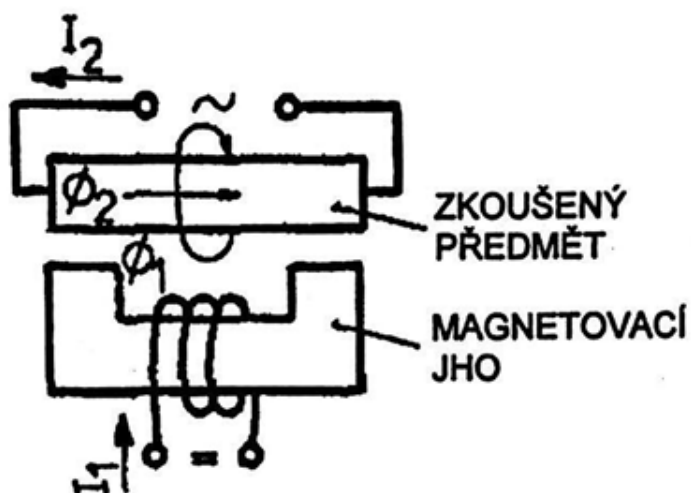
nevznikají žádné opaly ani nadměrný ohřev, protože je součást magnetována bezdotykově.



Obr. 22 Cirkulární magnetizace indukčním proudem [3]

4.5.3 Kombinovaná magnetizace

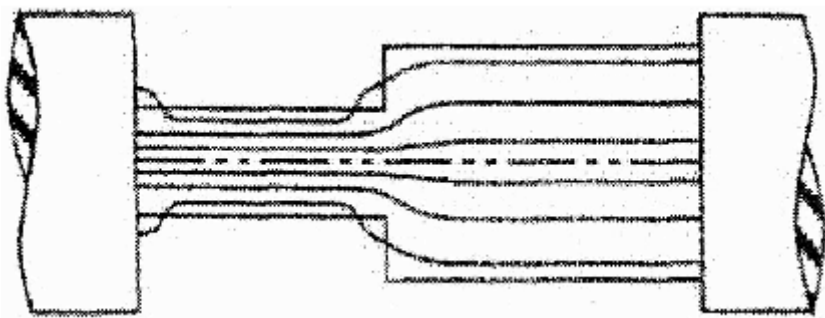
U kombinované magnetizace probíhá současně podélné i příčné magnetování. Využívá se zde jak stejnosměrného proudu, tak střídavého. Podélná magnetizace je vyvolána stejnosměrným proudem, naopak příčná magnetizace je vyvolána proudem střídavým.



Obr. 23 Kombinovaná magnetizace [3]

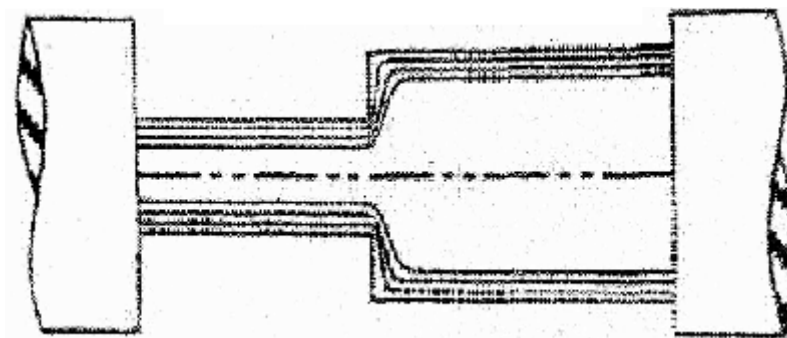
4.6 Elektrický proud pro magnetování

V případě magnetické metody práškové se používá pro buzení magnetického pole elektrický proud v rozpětí od 100 do 1000 Ampérů. V případě magnetování stejnosměrným proudem používáme pro napájení generátor nebo baterii. Výhodou stejnosměrného magnetování je rozložení magnetického toku rovnoměrně po celém průřezu. To znamená, že jsou zjistitelné i vady, které se nacházejí hlouběji pod povrchem. Náhlé změny průřezu však způsobují roptylové toky a můžou ukazovat nepravé indikace.



Obr. 24 Rovnoměrné rozložení magnetického toku – stejnosměrná magnetizace [4]

U střídavého magnetování se magnetický tok koncentruje hlavně k povrchu viz obr.24, takže jsou zmagnetovány i složitější průřezy. U tohoto typu magnetování zjišťujeme především povrchové vady, avšak do jisté míry (hloubky) se indikují i podpovrchové vady. Narozdíl od stejnosměrného magnetování je proces odmagnetování podstatně snadnější.



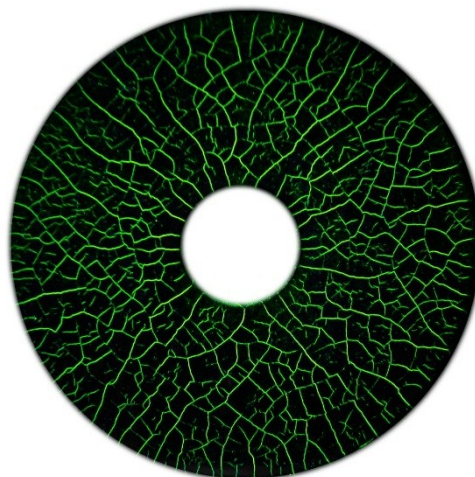
Obr. 25 Koncentrace magnetické toku k povrchu – střídavá magnetizace [4]

Pro úplnost této kapitoly je potřeba zmínit i zbývající proudy, které ale nebudu podrobněji popisovat, kvůli určenému rozsahu bakalářské práce. Jsou to usměrněné proudy (jednocestně, dvoucestně), dvoucestně usměrněný třífázový proud a impulsní proud.

4.7 Detekční prostředky

U magnetické metody práškové je nejčastějším používaným prostředkem feromagnetický prášek, který je nanášen na zkoušenou součást buď v kapalině, nebo suchou formou. Musíme však dbát na velikost zrna prášku, protože nám značně ovlivňuje výsledek zkoušení. Pokud je velikost zrna nadměrná, tak rozptylový tok nám dané zrno neudrží nad danou vadou. Příliš malá velikost zrna nám zase může danou trhlinu vyplnit a tím zmenšit rozptylový tok. Tento prášek rozdělujeme podle tvorby indikace a jejího hodnocení na viditelném nebo ultrafialovém záření do dvou skupin:

- 1) Barevné prášky – mohou mít černou, šedou nebo červenohnědou barvu. Barvu volíme tak, aby byla vůči pozadí kontrastní. Pokud má zkoumaná součást nevyhovující barvu povrchu pro nanesení našeho barevného prášku, opatříme ho nátěrem světlé nebo tmavé barvy. Musíme však dbát na to, aby nanesená vrstva barvy nebyla příliš silná (maximálně 50 μm), kvůli kvalitě následnému zkoušení.
- 2) Fluorescenční prášky – jsou to feromagnetické částičky železa, které jsou opatřeny povlakem lumogenu (luminiscenční barva) a po ozáření ultrafialovým světlem svítí (září) nejčastěji žlutozeleně (může zářit i modrozeleně nebo oranžově). Fluorescenční prášek musíme pravidelně přezkušovat, protože se může barvivo z železného prášku oloupat a tím ztratit svůj kontrast. Tato zkouška se nejčastěji provádí s pomocí zkušební měrky, která se nazývá Referenční měrka č.1 (také známá jako MTU-3), dle normy ČSN EN ISO 9934-2. Měrka je trvale zmagnetovaná, takže se už nesmí magnetovat. MTU-3 je kotouček na kterém se nachází mnoho vlasových trhlín, podle kterých se poté určuje degradace fluorescenčního prášku.



Obr. 26 Referenční měrka typu 1 (MTU-3) [20]

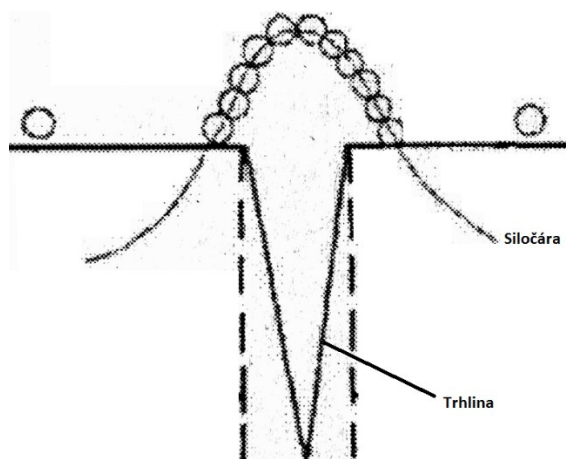
Dále můžeme detekční prostředky rozdělit podle druhu nosného média na:

- a) Olejové suspenze – používá se u mastných povrchů pro lepší smáčivost (než voda). Skládá se z magnetického prášku, minerálního oleje a petroleje. Pozor se musí dávat na bod vzplanutí oleje, jestliže zkoušíme součást příloženými elektrodami. V tomto případě se doporučuje používat suchý prášek. U olejových suspenzí by měl mít olej bod vzplanutí do 60°C.
- b) Vodní suspenze – tyto suspenze se vyrábí z koncentrátů, ve kterých se nachází jak feromagnetický prášek, tak potřebné přísady (smáčedla, inhibitory koroze, přípravky proti pění). Poté se nalije do čerpadla správné množství vody, přilévá se koncentrát a nechává se v čerpadle cirkulovat.
- c) Magnetické barvy – jsou to těžké oleje s vločkovitými částicemi, které se nanášejí na zkoušenou součást pomocí štětce. Olej se nanáší před magnetizací a po nanesení na povrch olej neztéká.
- d) Polymerové prostředky – při použití polymerových prostředků je vyžadována dlouhá magnetizační doba.

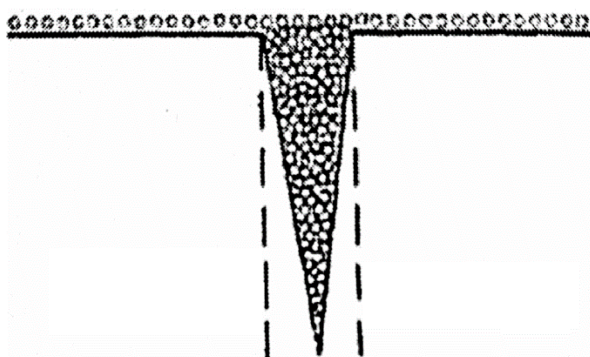
4.8 Vlastnosti magnetických prášků

Kvalitní magnetický prášek by se měl po zmagnetování součásti přesně usadit v místě výstupu rozptylového toku a neměl by se usazovat na drobných nerovnostech na zkoušeném materiálu. Abychom dostali kvalitní detekční prostředek, musí mít magnetický prášek tyto vlastnosti:

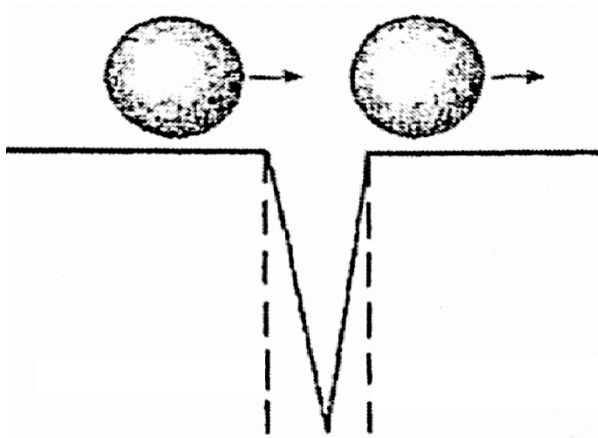
- Magnetické vlastnosti – každý prášek musí být z feromagnetického materiálu o vysoké permeabilitě pro lepší magnetování a nízké koercivitě, aby po skončení magnetování nezůstal zmagnetován a tedy přilnut na zkoušeném povrchu. Takový materiál nazýváme magneticky měkký.
- Optické vlastnosti – dnes se magnetické prášky vyrábí v černé, šedé nebo červenohnědé barvě a barvu prášku volíme podle barvy pozadí zkoumané plochy. Chceme dosáhnout toho, aby magnetický prášek měl vůči pozadí správný kontrast.
- Velikost zrna – velikost rozlišujeme podle toho, jestli bude prášek používán jako suchý, nebo smíchaný v suspenzi. Suché prášky mají rozměry 40 až 400 μm . Prášky do suspenzí jsou podstatně menší a pohybují se v rozmezí 0,1 až 20 μm . Velikost zrna musí být optimální, protože rozptylový tok velké zrna neudrží, a příliš malé zrna nám může trhlinu zaplnit a tedy zmenšit rozptylový tok.



Obr. 27 Správná velikost zrn prášku [4]



Obr. 28 Příliš malá velikost zrn prášku [4]



Obr. 29 Příliš velká zrna prášku [4]

- Provozní životnost fluorescenčního prášku – používáme-li magnetizační přístroje s čerpadlem a nuceným oběhem detekčního prostředku, musíme počítat s určitou životností fluorescenčního prášku. Prášek totiž ztrácí z povrchu luminoformní látky a tím svoji zářivost (kvalitu). Životnost fluorescenčního prášku určíme pomocí parametru B, například $B_{60}=0,7$ nám udává, že po šedesáti provozních hodinách klesne fluorescence na 70 % z původní hodnoty a tedy ztratí 30 % luminoformní látky z povrchu prášku.

4.9 Vlastnosti detekčních suspenzí

U detekčních suspenzí kontrolujeme obsah magnetického prášku. U barevných prášků bývá obsah prášku 5 až 10 gramů na litr suspenze. U fluorescenčních prášků 0,5 až 2 gramy na litr suspenze. Stanovit však přesnou hmotnost prášku v suspenzi je složité a vyžaduje laboratorní přístroje. Proto se častěji používá kontrola pomocí normy ASTM, která využívá ASTM baňku pro usazení magnetického prášku na dně nádoby. Do ASTM baňky se nalije 100 mililitrů suspenze a nechá se 30 minut odstát. Poté se na objemové stupnici nádoby kontroluje objem usazeného prášku.

LUXMETR

Luxmetry slouží ke zjištění intenzity viditelného světla. V našem případě většina testovaných součástí byla testována pomocí fluorescenčního detekčního prostředku, tedy testování probíhalo pod UV lampou za snížené intenzity viditelného světla. Norma ČSN EN ISO 9934-1 vyžaduje, aby při testování pod UV lampou byla intenzita viditelného světla rovna maximálně 20 luxům pro zajištění kvalitního kontrastu fluorescenčního prostředku se zkoušeným povrchem.



Obr. 31 digitální luxmetr [21]

MĚŘIČ UV SVĚTLA

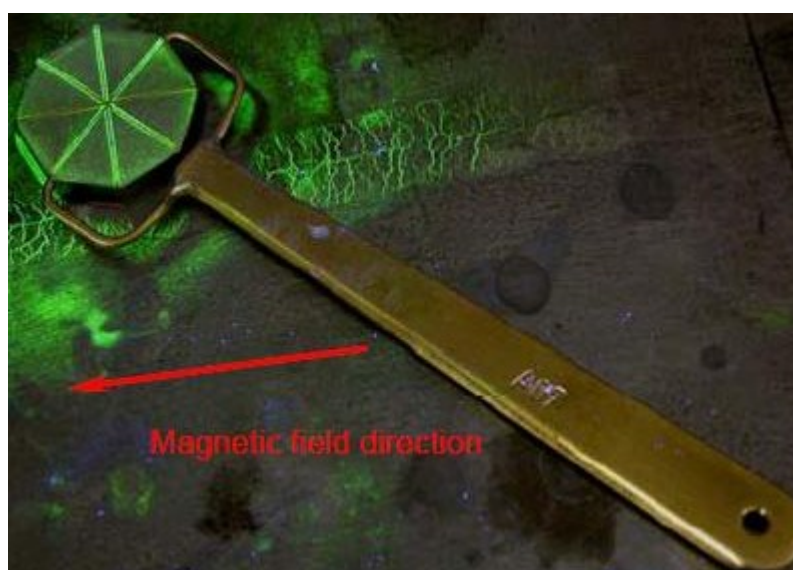
Jak jsem výše zmínil, většina testovaných součástí byla pomocí fluorescenčního prostředku a to by se neobešlo bez ultrafialového záření, které vyvolá právě požadovanou fluorescenci detekčního prostředku. Ultrafialové světlo, také známé jako černé světlo, je lidskému oku neviditelné, ovšem škodlivé. Proto při práci s ultrafialovým světlem používáme ochranné brýle s UV filtrem. Pro práci s fluorescenčním detekčním prostředkem je důležitá intenzita ultrafialového světla a proto byl použit tento měřič. Minimální hodnota UV světla by měla mít $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($10\text{W}/\text{m}^2$). Je nutné dodat, že intenzita UV světla se měří zhruba po 5 minutách z důvodu rozběhu UV lampy.



Obr.32 měřič UV světla [22]

INDIKÁTOR POLE (ASME MĚRKA)

Pomocí této měrky zjišťujeme, zda-li je magnetizace dostatečná (indikace vad) a také směr magnetického pole. Obsluha je jednoduchá – měrka se přiloží na zkoušený materiál na kterém je nanesen fluorescenční prostředek a následně se materiál zmagnetuje. Poté můžeme vidět kvalitu indikací i směr magnetizačního pole.



Obr.33 ASME měrka [23]

5.1 Testování pastorku pomocí fluorescenčního detekčního prostředku

Před testováním každé součásti je potřeba povrch důkladně očistit – zbavit povrch nečistot, okují, rýh a mastnoty. V našem případě stačilo pastorek pouze zbavit mastnoty, protože, jak je možno vidět z obr. 32, je pastorek kovově čistý. Pro odmaštění povrchu můžeme použít technický líh, nebo jiný speciální odmašťovací prostředek.

V našem případě byl testován pouze lesklý dřík pastorku. Po odmaštění součásti jsme mohli přejít k testování. V zatemněné laboratoři se zhaslo kvůli intenzitě viditelného světla (max. 20 luxů) a rozsvítla se UV lampa viz obr. 33. Vlnová délka UV záření použité lampy je 365 nm.



Obr. 34 Testovaný pastorek

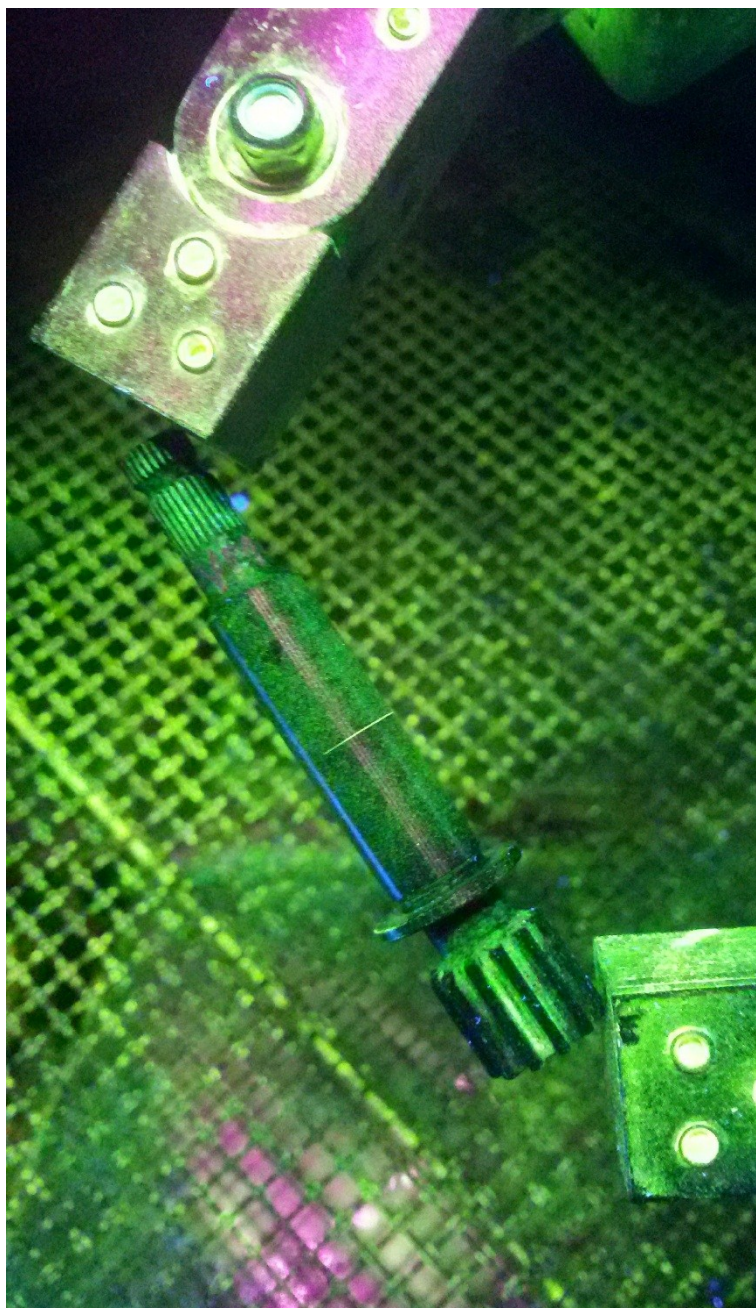


Obr.35 Použitá UV lampa [24]

POSTUP

Testování probíhá tak, že se nejdříve na testovanou součást nanese vrstva fluorescenčního prostředku a následně se součást zmagnetovává a zároveň se stále nanáší detekční prostředek. Po zobrazení indikací se přestává nanášet prostředek ale magnetizace stále trvá! V opačném případě bychom si indikace spláchly další nanesenou vrstvou.

Naši součást jsme magnetovali pouze podélně (pro zjištění příčných indikací), protože jsme se řídili podle normy EN ISO 9934-1. Tato norma uvádí, že pokud je znám směr namáhání (v našem případě je součást namáhána na smyk/kрут), tak je dostačující magnetování pouze v tom směru, ve kterém jsme si jisti vzniku vad.



Obr. 36 Indikace vady dříku pastorku

ZHODNOCENÍ

V našem případě se nám zobrazila indikace vady (příčná trhlina) uprostřed dříku viz obr. 35. Tuto indikaci zařazujeme do indikací lineárních, protože délka indikace je delší než trojnásobek šířky této indikace. Jelikož nám trhlina pokrývá skoro celý průměr dříku a další používání pastorku by danou vadu mohlo rozšířit (fatálním případem by bylo ukroucení/ustříhnutí dříku pastorku), považujeme tuto vadu jako nepřipustnou.

Jen pro názorné ukázání přikládám obrázek, kde vadu pouhým okem bez detekčního prostředku a bez magnetování není možné vidět. Součást je vždy focena pod UV lampou.



Obr. 37 Zobrazení součásti bez detekčního prostředku na dřívku

Jako detekční prostředek byla použita fluorescenční suspenze ve formě spreje – PFINDER 150. Suspenze se skládá z nízko viskozitního oleje s fluorescenčními magnetickými částicemi a speciálními přísadami pro kontrolu magnetickou metodou práškovou. Před použitím je potřeba sprej dobře protřepat.



Obr. 38 Použitý detekční prostředek [24]

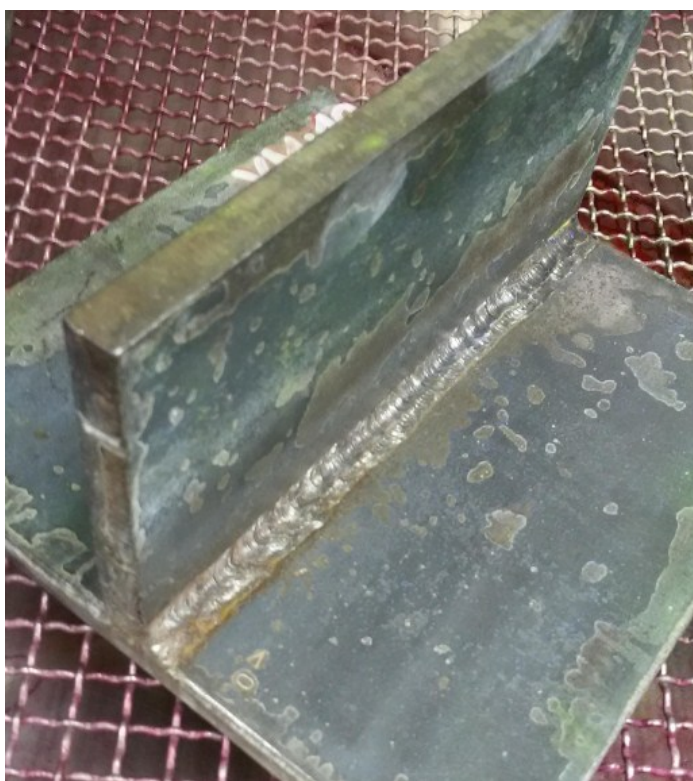
Pro magnetování součásti byl použit ruční magnet PICO – MAG 165 se silným AC magnetováním. Mezi hlavní přednosti tohoto magnetu patří jeho hmotnost – 2,3 kilogramy, takže je vhodný pro používání ke špatně přístupným součástem, kde by držení těžkého magnetu nebylo ideální. Další výhodou jsou jeho pohyblivé a snadno nastavitelné nástavce.



Obr. 39 Použitý ruční magnet

5.2 Testování koutového svaru pomocí fluorescenčního detekčního prostředku

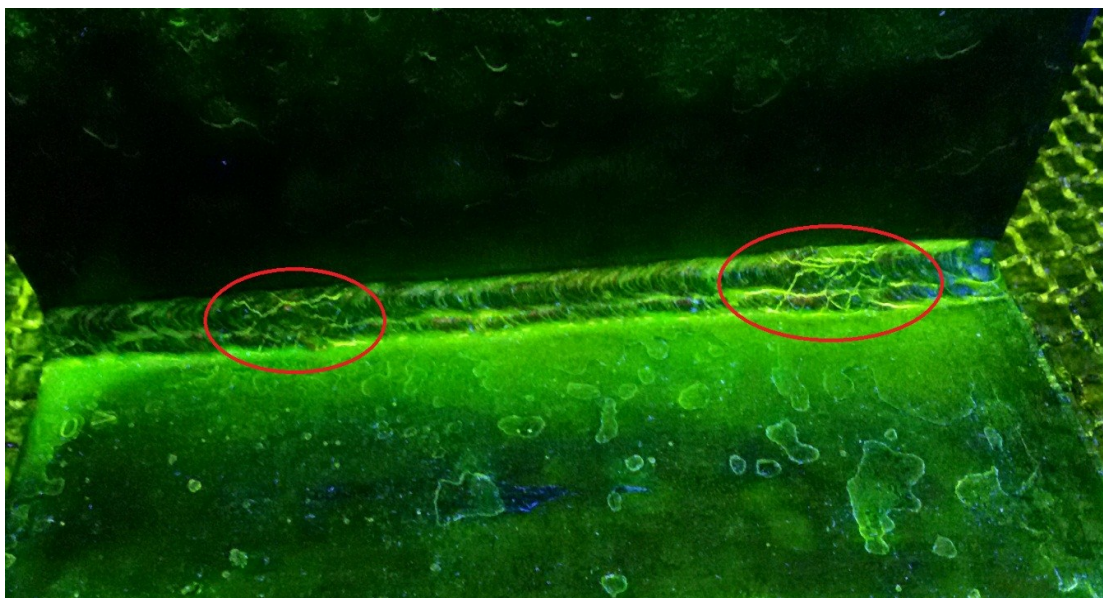
U testování koutového svaru byly použity stejné pomůcky jako u testování dříku pastorku – magnetizační jho, fluorescenční detekční prostředek, UV lampa, ochranné brýle s UV filtrem. Pomocí pohyblivých nástavců bylo magnetizační jho nastaveno na magnetování koutového svaru. Musíme mít na mysli, že při svařování dochází v okolí svaru kvůli vysokým teplotám k vnitřnímu pnutí v materiálu. Proto se při testování svarů zkouší i oblast v blízkosti svaru (10 až 25 milimetrů), kterou nazýváme tepelně ovlivněná zóna. V případě indikace vady v této oblasti se nalezená vada hodnotí stejně, jako by tomu bylo ve svaru.



Obr. 40 Testovaný koutový svar

POSTUP

Při testování koutového svaru jsme postupovali tak, abychom zjistili vady, které mohou být různě orientované (podélné a příčné vady). Proto jsme kontrolovaný úsek magnetovali vždy ve dvou směrech, kdy druhou magnetizaci jsme provedli tak, že jsme ji otočili o 90° než byla provedena první magnetizace.



Obr.41 Indikace vad v koutovém svaru

ZHODNOCENÍ

Po provedení testování se nám na svaru vyskytlo mnoho indikací. V takovém případě by svar byl vyhodnocen jako nepřipustný, protože se zde nachází hned několik trhlin. Je však možné dané místa přebrousit a znovu přezkoušet. Pokud by trhliny zmizely, můžeme daný svar hodnotit jako přípustný.

5.3 Testování součásti pomocí barevného detekčního prostředku

Při testování součástí pomocí barevných prášků je nejdůležitější správný výběr podkladové barvy a barevného prášku. Snažíme se docílit co nejlepšího kontrastu prášku na testované ploše. Proto se nejčastěji za podkladovou barvu používá bílá barva s černým magnetickým práškem.



Obr.42 Použití podkladové barvy s černým detekčním práškem [25]

Důležitým aspektem při testování barevným práškem je dobrá viditelnost, nebo-li dostatečná intenzita osvětlení v testovací místnosti. V našem případě jsme si intenzitu osvětlení změřili pomocí luxmetru a tato intenzita vyhovovala předepsané minimální hodnotě $E = 500 \text{ luxů}$.

V našem případě jsme jako podkladovou barvu použili bílou ve spreji PFINDER 280, která při nízkých teplotách nepraská (vznik falešných indikací), má velice dobrou přilnavost k materiálu a je rychleschnoucí. Jako detekční prostředek jsme použili černý magnetický prášek ve spreji PFINDER 251 pro kvalitní zobrazení indikací.



Obr. 43 Černý detekční prášek a podkladová barva ve spreji [24]

Po skončení každého testování součásti je důležitá demagnetizace této součásti, protože by zmagetované součásti mohli nepříznivě ovlivnit jejich funkci. Zmagetované součásti mohou zachycovat železný prach, piliny a další železné nečistoty. Taková demagnetizace se provádí například v demagnetizační cívce nebo tunelu.

5.4 Protokol o výsledcích

Po ukončeném testování součásti je potřeba vyhotovit protokol o provedeném testování. V tomto protokolu je celá zkouška podrobněji popsána – uvádíme způsob magnetizace, zkušební zařízení a měřící přístroje, detekční prostředek, osvětlení, náčrtek zkoušené součástky a další viz obr. 43. Je třeba zmínit, že protokoly se mohou lišit podle firem, protože každá firma má svůj protokol. Obsahově by však měly být velmi podobné.

ZÁZNAM O ZKOUŠENÍ MAGNETICKOU METODOU PRÁŠKOVOU

Identifikace:

Název výrobku: Hřidel Rozměry: F 86 x 653 Číslo výrobku: 073
Zákazník: Automont Prostějov Č. výkresu: KR 1838 Číslo instrukce: PTS 13-13/7
Č. zakázky: 1-5768-01 Materiál: 11 500 Počet kusů: 1

Rozsah zkoušení (zkoušený povrch):

Zkoušet po celém povrchu s výjimkou čel na podélné i příčné vady.

Způsob magnetizace:

Druh proudu	Způsob magnetizace					
	Ruční magnet	Jho	Cívka	Průchod proudu	Pomocný vodič	Indukce proudu
Střídavý		X		X		
Stejnoseměrný						

Kombinovaná magnetizace: ☐ ano ☐ ne

Popis způsobu magnetizace: Běžný způsob magnetizace na universálním přístroji.
magnetizace:

Zkušební zařízení a měřicí přístroje:

Zařízení - přístroj	Typ	Výrobce	Výrobní číslo
<u>Univerzál Tiede</u>	<u>U 900 WE</u>	<u>Tiede</u>	<u>0731-589-11</u>

Indikační prostředek:

Výrobce	Druh	Číslo šarže	Použitelný do	Obsah prášku ml/100 ml
<u>Hofmann</u>	<u>Apelux 1018/1</u>	<u>2001/03</u>	<u>30.10.2003</u>	<u>0,35</u>

☐ suchý ☐ olejová suspenze ☐ vodná suspenze ☐ barevný ☐ fluorescenční

Osvětlení pracoviště:

Intenzita UV záření: 3500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ Intenzita viditelného světla: 15 luxů

Ověření citlivosti měrkami:

Druh měrky	MTU 3	Bertholdova	Závaží 4,6 kg
Výsledek	<u>—</u>	<u>vyhovuje</u>	<u>—</u>

Obr. 43 První strana protokolu (vzorová) [4]

Parametry zkoušky:			
Čištění před zkouškou	Odmaštěno ředidlem		
Magnetizační proud	1500 A	Počet ampérzávitů	50 % kAW
Doba magnetizace po ukončení polévání	2 s	Intenzita zbytkového pole po odmagnetování	0,7 kA/m

Náčrtek zkoušeného výrobku:

zkoušená plocha

Č. vady	X mm	L mm	Popis vady
1	195	12	Lineární, podélná

X – souřadnice počátku vady L – délka vady, resp. pásma vad

Zkoušení provedl: Jan Barták 17.7.2000 _____
jméno datum podpis

Výsledek zkoušky:

☐ bez nálezu ☐ vyhovuje
☐ s přípustnými indikacemi ☐ nevyhovuje, vyřadit
☐ s nepřípustnými indikacemi ☐ nevyhovuje, k opravě

Vyhodnotil: Karel Červený 18.7.2000 _____
(Level II) jméno datum podpis

Obr. 44 Druhá strana protokolu (vzorová) [4]

Musím ještě zmínit, že nalezené indikace se hodnotí podle kritérií, které můžeme nalézt v příslušných normách, nebo mohou být uvedeny ve smlouvách či na výkresech. Tyto kritéria nám indikace dále rozdělují na přípustné indikace (neohrožují nám další použití materiálu - součásti) a vady (ohrožují další použití součásti). Dále mohou být indikace falešné – způsobené například drsným povrchem, nebo také indikace způsobené tvarem – ostré hrany, změny průřezu.

6 Závěr

V úvodu bakalářské práce jsem zpracoval krátký přehled o všech metodách, které spadají pod obor technické diagnostiky nedestruktivního zkoušení materiálu. Z tohoto úvodu můžeme konstatovat, že pro kvalitní kontrolu materiálu a součástí, máme široký výběr metod ze kterého můžeme v praxi čerpat. Pomocí nedestruktivního testování zjišťujeme zásadní necelistvosti výrobků, které mohou vznikat jak při výrobě tak při použití dané součásti.

Proto, že se nedestruktivní zkoušení zabývá hledáním necelistvostí, jsem dále uvedl druhy vad, které se mohou v testovaných součástech vyskytnout a pro přehlednost jsem je rozdělil dle technologie výroby.

Dále jsem se zabýval pouze magnetickou metodou práškovou, kde pro správné pochopení, jak magnetická metoda prášková funguje, přibližuji jedny z důležitých magnetických veličin, způsoby magnetování a detekční prostředky.

K celkové rešerši jsem přidal praktickou ukázkou, kde jsem chtěl ukázat a popsat testování součásti pomocí magnetické metody práškové. Hned na začátku jsem uvedl všechny použité pomůcky a přístroje, které předcházejí samotnému testování. Dále jsem zobrazil fotky, na kterých jsou jasně vidět vady dané součásti a k tomu je popsáno jak se při testování postupovalo. K závěru praktické části uvádím vzorový protokol, který je výsledkem každého testování.

Seznam použité literatury

- [1] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [2] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-158-6.
- [3] BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-85771-72-1.
- [4] BRODSKÝ, Bohumil. *Metoda magnetická prášková*. Ostrava: Interní podklady firmy PTS, 2013. PTS 02-13/2
- [5] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení: defektoskopie : encyklopedický přehled metod nedestruktivního zkoušení materiálů a výrobků*. 2. doplněné vydání. Brno: Česká společnost pro nedestruktivní testování, 2015. ISSN 1213-3825.
- [6] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-600-1.
- [7] Ultrazvuková metoda - WELDINSPECT. Hlavní stránka - WELDINSPECT [online]. [cit.24.04.2018]. Dostupné z: <https://weldinspect.cz/metody/ultrazvukova-kontrola/>
- [8] Prozařovací metoda [online]. Copyright © 2005 [cit. 24.04.2018]. Dostupné z: <http://www.ndtservis.cz/web/index.php/cz/nedestruktivni-zkouseni/prozarovaci-metoda-rt>
- [9] Magnetické vlastnosti látek : MEF. *Fyzika :: MEF* [online]. Copyright © 2006 [cit. 24.04.2018]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/295-magneticke-vlastnosti-latek>
- [10] Magnetická metoda prášková. SlidePlayer [online]. Copyright © 2018 [cit. 24.04.2018]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2371180/>
- [11] Nedestruktivní zkoušení – Zásady vizuální kontroly svarů a výrobků [online]. Copyright © 2005-2018. [cit. 13.04.2018]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1240>

- [12] Nedestruktivní metody testování – kapilární defektoskopie [online] [cit.24.04.2018]. Dostupné z:
http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=6385&typ=html
- [13] Nondestructive testing [online]. Copyright © 2006. [cit. 24.04.2018]. Dostupné z:
<http://www.thornhillinspection.ca/Training.html>
- [14] Magnetic Particle Inspection - Definition | RF System Lab. RF System Lab | VJ-Advance Articulating Video Borescopes for Industry[online]. [cit. 20.04.2018]. Dostupné z: <http://www.rfsystemlab.us/glossary/magnetic-particle-inspection/>
- [15] Cívka [online]. [cit. 24.04.2016]. Dostupné z:
http://www.frik.cz/elektro/components/inductor_cs.php
- [16] Electricity, Magnetism, & Electromagnetism Tutorial [online]. Copyright © 2002-2018. [cit. 18.02.2018]. Dostupné z: <https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/references/electricity-magnetism-electromagnetism-tutorial?id=640#magnetism>
- [17] Měření fyzikálních veličin se systémem Vernier [online]. [cit. 22.04.2018]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6535384-Mereni-fyzikalnich-velicin-se-systemem-vernier.html>
- [18] Magnetic Flux Density or Magnetic Induction [online]. [cit. 19.03.2018]. Dostupné z: <https://www.askiitians.com/iit-jee-magnetism/magnetic-flux-density-magnetic-induction-magnetic-intensity/>
- [19] Principy elektromagnetického pole [online]. Copyright © 1998-2018. [cit. 24.04.2018]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2005-02-27.3868133294/view>
- [20] Měřicí přístroje MT [online]. Copyright © 2017. [cit. 24.04.2018]. Dostupné z:
<http://www.inkar.cz/produkty/magneticka-metoda/merici-pristroje-mt/#1501549595039-fec45bab-0261>
- [21] Digitální luxmetr MS-1300 | GES-ELECTRONICS . [online]. Copyright © 1991 [cit. 25.04.2018]. Dostupné z: <https://www.ges.cz/cz/digitalni-luxmetr-ms-1300-GES07313152.html>
- [22] Měřič intenzity slunečního záření Voltcraft PL-110 SM | RR-Naradi.CZ. Náradí pro dílnu, dům i zahradu, ruční náradí | RR-Naradi.CZ[online]. Dostupné z: <https://www.rr-naradi.cz/meric-intenzity-slunecniho-zareni-voltcraft-pl-110-sm#prettyPhoto>

[23] Mierky | SlovCert [online]. Copyright © 2011 [cit. 25.04.2018]. Dostupné z: <http://www.slovcert.sk/mierky=86/>

[24] PTS Josef Solnař sale. [online]. Copyright © 2017 PTS Josef Solnař [cit. 26.04.2018]. Dostupné z: <https://www.ptsndt.com/cs/prodej>

[25] Magnetic particle inspection [online]. Copyright ©2016. [cit. 29.04.2018]. Dostupné z: http://www.qinspec.ae/magnetic_particle_testing.html